

بررسی ارتباط کانی‌زایی مس با تکامل ساختاری در ساختار رومبوندی تفت

مهدی رضائی کتابونچه^۱، حجت‌اله صفری^۲، همایون صفایی^۳ و غلامحسین شمعانیان^۲

^۱دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

^۲دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

^۳دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۱/۲۹

چکیده

منطقه تفت در بخش میانی کمربند آتشفشانی ارومیه- دختر، در مجاورت بلوک خاوری گسل اصلی دهشیر واقع شده است. تاکنون بیش از ۱۰۰ اندیس مس پورفیری در کمربند آتشفشانی ارومیه- دختر شناسایی شده است. به نظر می‌رسد که این رخدادهای کانه‌زایی مرتبط با ساختارهای منطقه به خصوص گسل‌های اصلی باشند. به همین دلیل ناحیه تفت به عنوان مورد مطالعاتی برای بررسی ارتباط بین کانی‌زایی مس با ساختارها و زمین‌ساخت انتخاب شد. در این پژوهش با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور، GIS و کنترل‌های صحرائی، ساختارهای اصلی منطقه استخراج شد و مورد تجزیه و تحلیل‌های ساختاری قرار گرفت. نتایج مطالعات ساختاری نشان می‌دهد که عملکرد دو نسل از گسلش با امتدادهای N150-160 و N110-120 سبب تشکیل یک ساختار رومبوندی شده و در ادامه نسل سوم از گسلش با راستا N60-70 کلیه ساختارها را بریده و جابه‌جا کرده است. این نسل سوم از گسل‌ها جدیدترین نسل گسلش در منطقه هستند و در مرحله شروع برخورد صفحه عربی به ریزقاره ایران (الیگوسن- میوسن) تشکیل و یا فعال شده‌اند. این پهنه گسلیده چون عمود بر محل همگرایی بوده، دارای مؤلفه کششی شده و محیطی مناسب جهت نفوذ توده‌های گرانیتویدی نوع I در طی الیگوسن- میوسن فراهم کرده است. نفوذ واحدهای گرانیتویدی مذکور عامل اساسی در شکل‌گیری اندیس‌های مس با تیپ‌های پورفیری و اسکارن در طول این منطقه گسلیده شده است.

کلیدواژه‌ها: کمربند ماگمایی ارومیه- دختر، رومبوند ساختاری تفت، کانه‌زایی مس، رخدادهای پورفیری- اسکارن، گرانیتویدهای الیگوسن- میوسن.

E-mail: h.safari@gu.ac.ir

*نویسنده مسئول: حجت‌اله صفری

۱- پیش‌نوشتار

کمربند ماگمایی ارومیه- دختر با طول ۱۶۰۰ کیلومتر از شمال باختر تا جنوب ایران کشیده شده و شامل سنگ‌های آذر- آواری فلسیک تا حدواسط با سن کرتاسه تا ائوسن است که درون آنها توده‌های گرانیتویدی با سن ائوسن- الیگوسن تا میوسن نفوذ کرده‌اند. شکل‌گیری این کمربند ناشی از فرورانش صفحه عربستان به زیر خردقاره ایران در حد فاصل ژوراسیک پسین تا میوسن بوده است (Mohajjel et al., 2003; Agard et al., 2011; Shafiei, 2010). یکی از مهم‌ترین انواع نهشته‌های مس، اندیس‌های مس پورفیری همراه با کانی‌زایی‌های مس رگه‌ای و اسکارنی هستند. این نهشته‌ها از نظر محیط زمین‌شناختی، نوع سنگ دربرگیرنده، هندسه ماده معدنی، همزادها، نحوه تشکیل و عیار با هم متفاوتند (نوبی، ۱۳۸۱). از نظر محیط زمین‌ساختی، اغلب نهشته‌های مس پورفیری بر اثر فعالیت‌های آذرین ناشی از فرورانش نوع آندی و تشکیل گرانیتویدهای نوع I شکل می‌گیرند. با توجه به اینکه بیشتر نهشته‌های مس پورفیری ایران همراه با سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی ترشیری دیده می‌شوند، دور از انتظار نخواهد بود که بیشتر اندیس‌های معدنی مس پورفیری شناسایی شده در کمربند ارومیه- دختر قرار گرفته باشند. به باور بسیاری از زمین‌شناسان این کمربند با توجه به جایگاه زمین‌ساختی خود یکی از مناطق مساعد برای کانی‌زایی مس پورفیری محسوب می‌شود (Ghorbani, 2013). بسیاری بر این باورند که کانسارهای مهم مس پورفیری، در تقاطع سیستم‌های گسلی واقع شده‌اند و به همین دلیل نظریه کنترل ساختاری کانسارهای مس پورفیری مطرح شده است. ساختارهای بزرگ‌مقیاس ناحیه‌ای سبب ایجاد زون‌های گسلش عرضی با طیف وسیعی از گسل‌های محلی با روندهای مختلف می‌شوند. در بخش‌هایی از این ساختارهای بزرگ‌مقیاس، ساختارهای کششی با مکانیسم‌هایی نظیر تراکشس ایجاد شده‌اند و چون پوسته را تحت کشش و نازک‌شدگی قرار می‌دهند، مجراهایی مناسب جهت صعود ماگما ایجاد می‌کنند و سبب جایگیری کم‌عمق توده‌های گرانیتویدی پورفیری بر روی زون‌های فرورانش می‌شوند (Richards, 2003). به این ترتیب، شکستگی‌های بزرگ‌مقیاس (و شکستگی‌های استوک‌ورک) می‌توانند باعث ایجاد زون‌های با نفوذپذیری بالا شوند و شرایط را برای جایگیری توده‌های نفوذی و تشکیل نهشته‌های مس فراهم آورند. برای کنترل اثر ساختارهای شکل

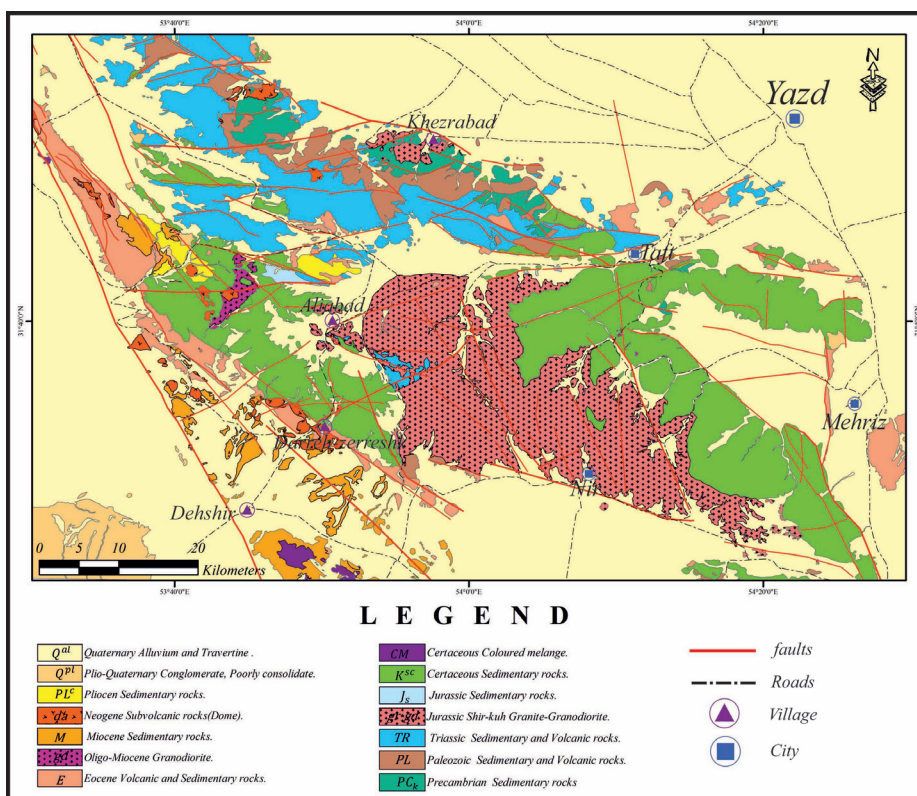
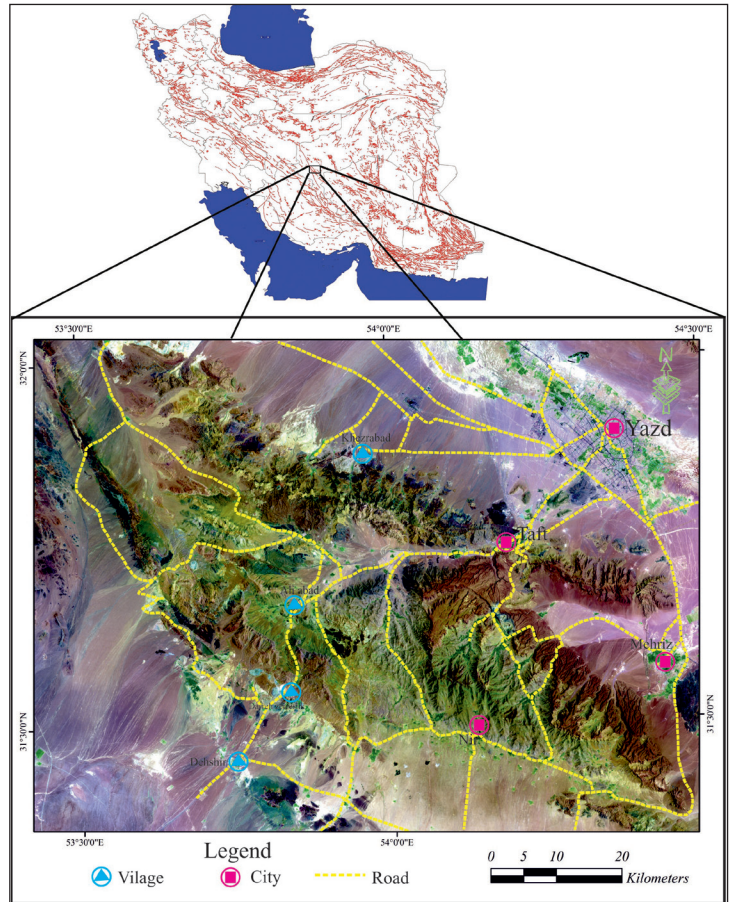
۲- جایگاه زمین‌شناسی منطقه

منطقه تفت در بخش مرکزی کمربند ارومیه- دختر قرار گرفته است. بررسی ساختاری منطقه تفت حاکی از آن است که این منطقه در مجاورت بلوک خاوری گسل اصلی دهشیر قرار گرفته است. از طرفی گسل مه‌ریز نیز با همین سازوکار حرکتی از خاور این منطقه عبور می‌کند. این پهنه ساختاری از شمال توسط گسل معکوس خضرآباد و از جنوب نیز توسط گسل‌های معکوس نیر و بافت محاط شده است. در حد فاصل این دو سیستم گسلش، پهنه‌ای ساختاری به شکل رومبوندال تشکیل یافته است. این الگوی ساختاری می‌تواند حاصل پدیده ترافشارش در الگوی چپ‌پله در حد فاصل دو گسل امتدادلغز راست بر باشد (Safari et al., 2015). توده باتولیتی شیرکوه قدیمی‌ترین سنگ آذرین بوده که تمامی سنگ‌های قدیمی‌تر را تحت تأثیر قرار داده و موجب ایجاد دگرگونی نوع همبری در آنها شده است. این توده باتولیتی خصوصیات گرانیت‌های نوع S-type را دارد (شیبی و اسماعیلی، ۱۳۸۹). همچنین سنگ‌های آذر- آواری فلسیک تا مافیک به سن کرتاسه تا ائوسن نیز در منطقه مشاهد می‌شوند که می‌تواند مربوط به کمان ماگمایی حاصل از فرورانش بوده باشد. این سنگ‌ها از نظر ژئوشیمیایی دارای ترکیب کالک‌آلکال و عمدتاً از نوع I-type هستند. درون این رخنمون‌های سنگی، توده‌های گرانیتویدی (شامل دیوریت، گرانودیوریت و گرانیت) نوع I-type با ترکیب کالک‌آلکال با سن الیگوسن تا میوسن نیز نفوذ کرده‌اند (Zarasvandi, 2004). شایان توجه است که با شروع فرایند برخورد صفحه عربی به ریزقاره ایران در محدوده زمانی ائوسن- الیگوسن، پدیده جدایش زون بنیوف و غوطه‌ور شدن آن رخ داده است (Mohajjel et al., 2003).

سنگی منطقه تفت حاکی از آن است که قدیمی‌ترین رخنمون‌های سنگی متعلق به سنگ‌های رسوبی پالئوزویک-تریاس هستند که توسط توده نفوذی گرانیتی شیرکوه به سن ژوراسیک بریده و دچار دگرگونی مجاورتی شده‌اند (شکل ۲).

به این ترتیب مشخص می‌شود که ماگماتیسم مرتبط با فروانش پس از شروع برخورد قاره‌ای نیز ادامه یافته و موجب ماگماتیسم الیگوسن-میوسن در منطقه مورد مطالعه شده است. کنترل رخنمون‌های

شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه گسل‌های ایران و تصویر با ترکیب باند ۱-۴-۷ اصلاح و بارسازی شده منطقه.



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۰ با تغییرات و اصلاحات).

۴- بررسی‌های ساختاری

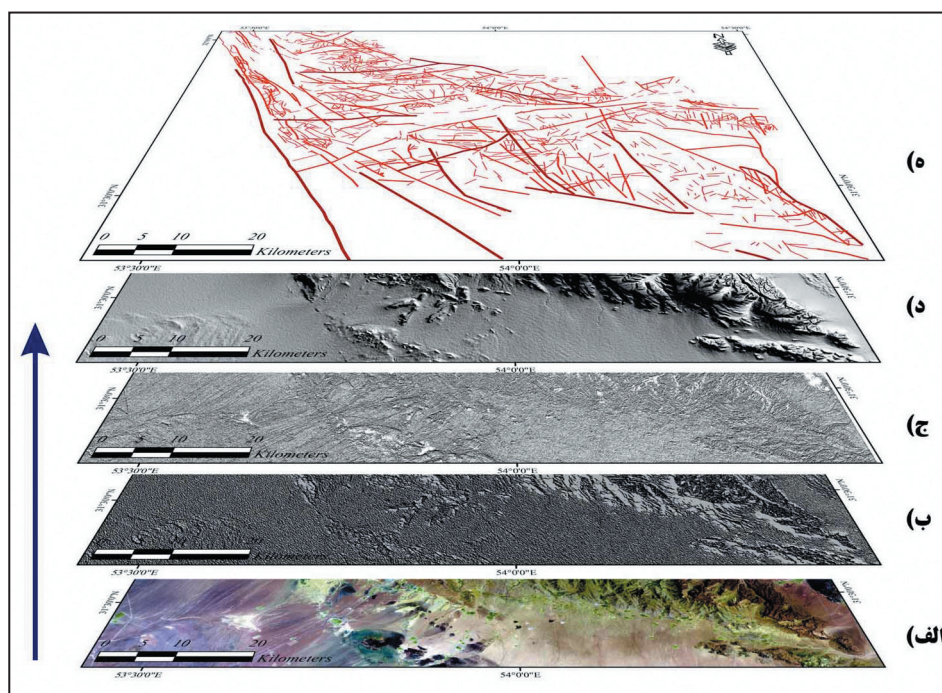
۴-۱. استخراج خطوط‌های گسلی

بدین منظور از داده‌های سنجنده ETM+ ماهواره Landsat7 استفاده شد. ابتدا تصاویری با رنگ کاذب با ترکیب باندهای مختلف از جمله ترکیب RGB=741 ساخته شد و سپس با استفاده از فیلترهای بالاگذر عمل بارزسازی اولیه انجام گرفت (شکل ۱). در ادامه عمل بارزسازی، برای بالا بردن همزمان وضوح طیفی، از عملکرد امتزاج استفاده شد (Lillesand and Keifer, 2000). در این عمل از تلفیق باند پانکروماتیک (دارای وضوح مکانی ۱۴/۵ متر) و تصویر با ترکیب (۱-۴-۷) (با وضوح طیفی بالا و وضوح مکانی ۲۸ متر) تصویری به دست آمد که همزمان دارای وضوح طیفی و مکانی بالایی بود (شکل‌های ۱ و ۳-الف). جهت شناسایی اولیه پدیده‌های خطی از فیلتر تیزکننده لبه‌ها بر روی تصویر رنگی کاذب (با ترکیب ۱-۴-۷) استفاده شد (شکل ۳-ب). برای استخراج بهتر خطوط‌ها، فیلترهای جهت‌دار در جهات ۴۵، ۹۰، ۱۳۵ و ۱۸۰ درجه بر روی باند R تصویر رنگی کاذب اعمال شد (شکل ۳-ج). با استفاده از توابع GIS، مدل رقومی ارتفاعی (DEM) از نقشه‌های توپوگرافی منطقه تهیه و سپس با استفاده از نرم‌افزار ER Mapper 7.1 فیلتر تابش خورشید با جهات مختلف (با آزمایشات جهات ۴۵، ۹۰، ۱۳۵ و ۱۸۰ درجه) و زوایای مختلف (۴۵ و ۹۰ درجه) اعمال شد (شکل ۳-د). تمامی خروجی‌های به دست آمده به عنوان لایه‌های رستری ذخیره و در نهایت با استفاده از محیط GIS فراخوانی (شکل ۳) و با استفاده از روش‌های بصری خطوط‌های گسلی موجود در شناسایی شدند. در ادامه رقومی کردن شکستگی‌های استخراج شده انجام گرفت (شکل ۳-ه). سپس از طریق کنترل‌های میدانی و اندازه‌گیری‌های صحرایی صورت گرفته در ۳۲ ایستگاه (شکل ۴)، گسل‌ها شناسایی و به دو رده گسل‌های اصلی و فرعی تفکیک شدند. در پایان اطلاعات ساختاری تحلیلی مانند نمودارهای گل سرخی و محورهای فشارش (شکل ۵) نیز به نقشه افزوده و نقشه ساختاری نهایی شد (شکل ۶). در این پژوهش از اطلاعات زیرسطحی ژئوفیزیکی نیز جهت شناسایی گسل‌ها استفاده شد (شکل ۷).

واحد کنگلومرای و ماسه‌سنگی سازند سنگستان توسط سنگ‌های آواری کرتاسه بالایی به صورت ناپیوستگی پوشیده شده است. بر روی توالی رسوبی مزوزویک، کنگلومرای انوسن و سنگ‌های آذر آواری قرار گرفته‌اند. سنگ‌های آتشفشانی انوسن شامل لاواهای آندزیتی، تراکی آندزیت و سنگ‌های پیروکلاستیک هستند. نفوذی‌های گرانیتویدی با سن الیگوسن-میوسن در واحدهای مزوزویک تا پائوسن نفوذ کرده‌اند (Zarasvandi et al., 2004). این نفوذی‌ها شامل گرانیت، گرانودیوریت، کوآرتزموزنودیوریت، تونالیت، کوآرتزیدیوریت و دیوریت هستند و عمدتاً در بخش‌های مرکزی-باختری در طول زون‌های عریض گسلش رخنمون یافته‌اند. این سنگ‌های گرانیتویدی باعث تشکیل ذخایر اسکارنی، پورفیری، اسکارن پورفیری و رگه‌ای مس و آهن در جنوب باختر یزد شده‌اند که کانسارهای مس پورفیری دره‌زرشک و علی‌آباد از آن جمله است. کانی‌زایی مس در بخش علی‌آباد به صورت نهشته‌های پورفیری در استوک‌های گرانیتویدی به سن حدود ۱۵ میلیون سال (میوسن) رخ داده است (Zarasvandi et al., 2004). این در حالی است که در بخش دره‌زرشک، نفوذ توده‌های گرانیتویدی در داخل سنگ‌های آهکی محدوده موجب کانی‌زایی مس و آهن نوع اسکارن شده است (Zarasvandi et al., 2004).

۳- روش مطالعه

ابتدا با استفاده از روش‌های دورسنجی خطوط‌های ساختاری محدوده مورد مطالعه شناسایی شد و در ۳۲ ایستگاه مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به برداشت‌های ساختاری اقدام به تهیه نقشه ساختاری منطقه شد. در ادامه، مهم‌ترین اندیس‌ها و کانسارهای مس منطقه با استفاده از منابع موجود (از جمله آرشیو شرکت ملی صنایع مس ایران) و مطالعات میدانی این پژوهش شناسایی و در محیط GIS به صورت لایه‌برداری نقطه‌ای بر روی لایه گسل‌ها قرار داده شدند. در نهایت با استفاده از توابع محیط GIS ارتباط بین آنها مورد بررسی قرار گرفت. همچنین با استفاده از اطلاعات به دست آمده در طی این پژوهش، اقدام به ارائه یک مدل زمین‌ساختی-کانه‌زایی برای محدوده مورد مطالعه و پیرامون شد.



شکل ۳- نحوه استخراج خطوط‌ها با استفاده از خروجی‌های حاصل از تکنیک‌های مختلف سنجش از دور با استفاده از قابلیت‌های محیط GIS. الف) تصویر ماهواره‌ای اصلاح و بارزسازی شده؛ ب) تصویر ماهواره‌ای با فیلتر بارزکننده لبه‌ها؛ ج) تصویر ماهواره‌ای با فیلتر جهت‌دار؛ د) مدل ارتفاعی رقومی با فیلتر جهت تابش خورشید؛ ه) نقشه خطوط‌های استخراج شده.

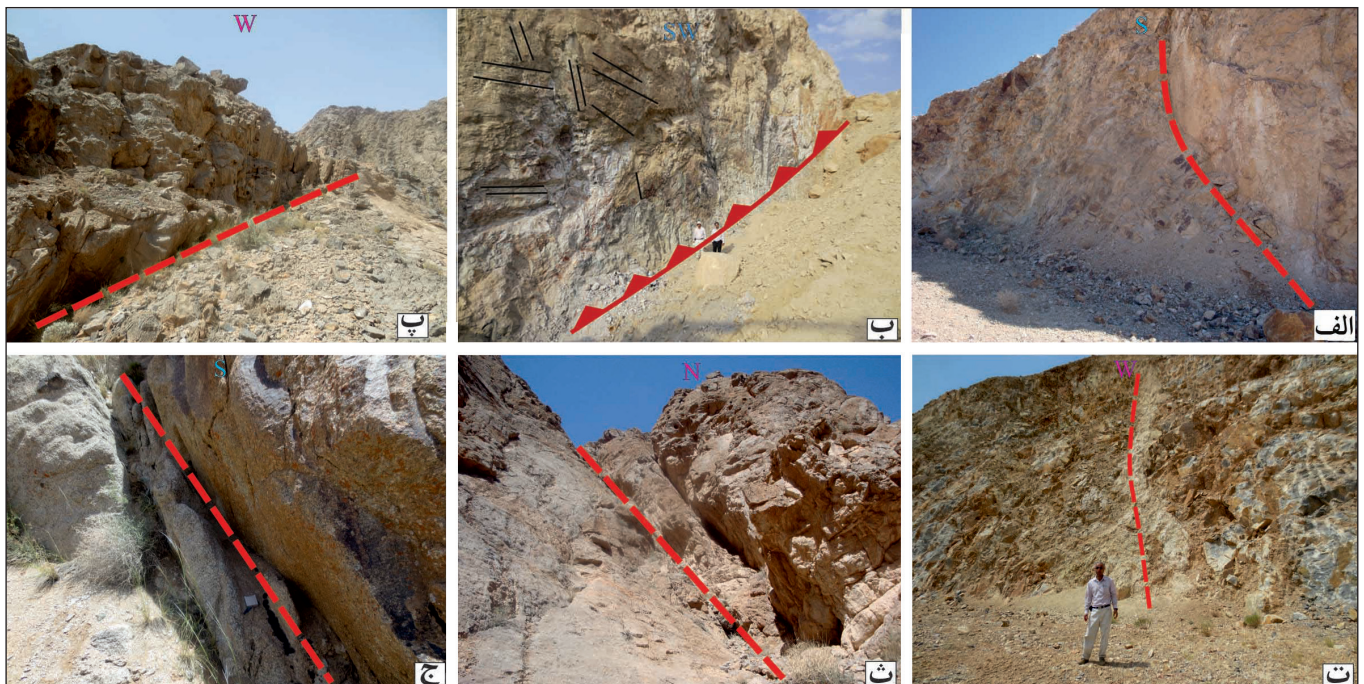
۴-۲. شناسایی و بررسی گسل‌ها

در این پژوهش گسل‌های منطقه بر اساس طول به سه دسته بزرگ‌مقیاس (Major)، اصلی (Main) و فرعی (Minor) تقسیم‌بندی شدند (شکل ۶). بررسی راستا و سازکار این گسل‌ها نشان می‌دهد که گسل‌های اصلی را از نظر راستا و سازکار می‌توان به سه دسته: (۱) شمال، شمال باختر-جنوب، جنوب خاور، (۲) شمال باختر-جنوب خاور و (۳) باختر، شمال باختر-خاور، جنوب خاور تقسیم کرد. مهم‌ترین خصوصیات گسل‌های مذکور بر اساس شواهد صحرایی و موارد استخراج شده از طریق روش‌های سنجش از دور به شرح ذیل است:

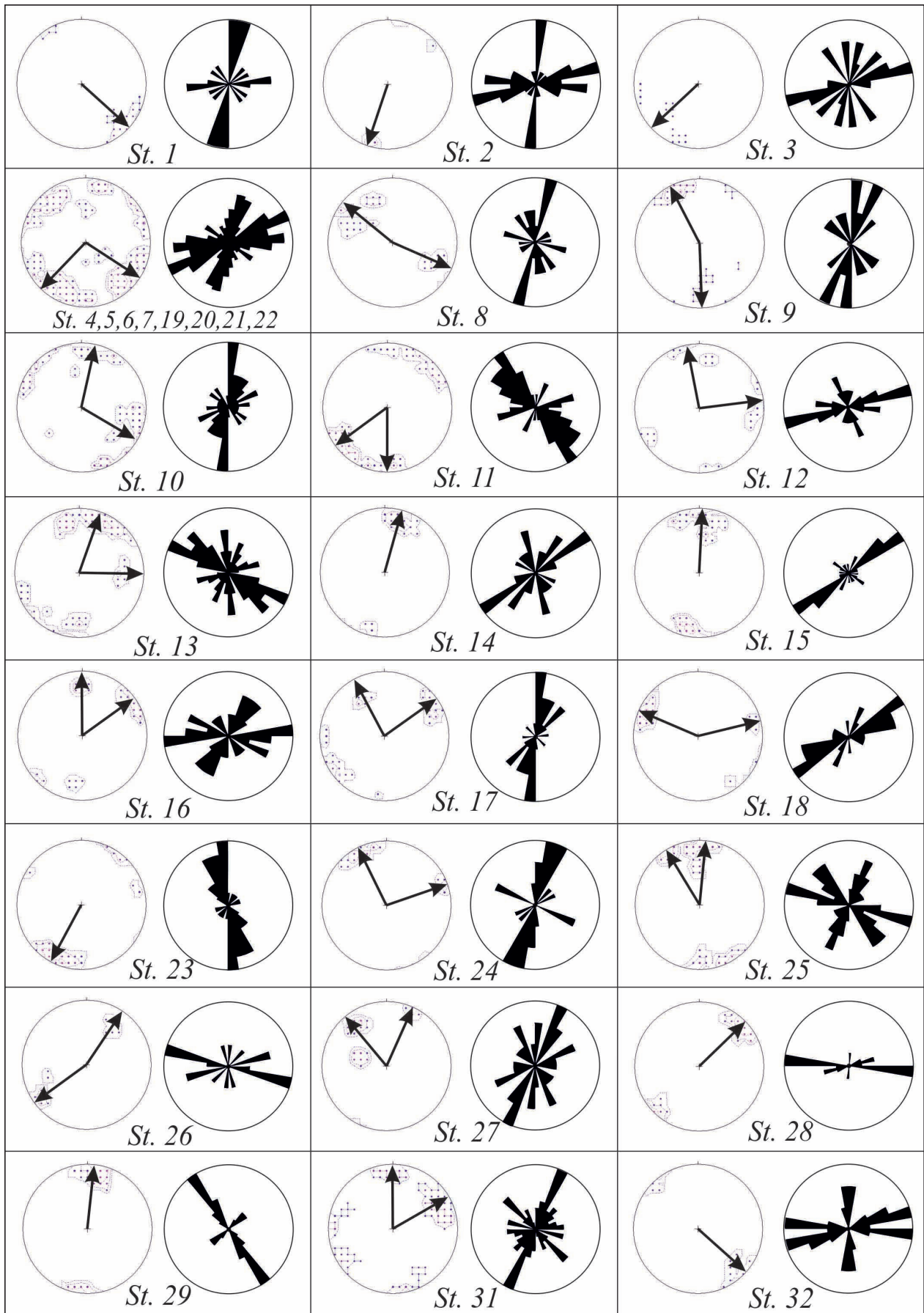
– **گسل دهشیر:** گسل دهشیر با راستای ۱۵۰ تا ۱۶۰ N و طولی حدود ۳۸۰ کیلومتر، دارای عرض زون گسلش ۲ تا ۳ کیلومتر است. این گسل با سازوکار راستالغز راست‌بر، باعث ایجاد جابه‌جایی راست‌بر حدود ۶۵ کیلومتری در کمان ارومیه-دختر شده است (شکل ۱) (Walker and Jackson, 2004; Meyer et al., 2006). نرخ لغزش بر روی گسل دهشیر $0.3 \pm 1/2$ میلی‌متر در سال برآورد شده است (Le Dortz et al., 2011). برخی پژوهشگران قدیمی‌ترین سن فعالیت این گسل و یا گسل‌های مشابه آن نظیر انار و قم-زفره را کرتاسه بالایی دانسته‌اند (Tabaei et al., 2016؛ مقصودی و همکاران، ۱۳۹۱؛ مشرفی‌فر و همکاران، ۱۳۸۷). با توجه به اینکه سایر راستاهای گسلش، گسل‌های دهشیر و مهریز را بریده و جابه‌جا کرده‌اند، می‌توان استنباط کرد که این گسل‌ها، قدیمی‌ترین نسل گسل‌ها باشند. گسل دهشیر مرز باختری ساختار شکل گرفته در منطقه را تشکیل می‌دهد و به نظر می‌رسد که مهم‌ترین نقش را در فرگشت ساختمانی این منطقه ایفا کرده است.

– **گسل علی‌آباد:** این گسل با راستای تقریبی ۶۰ تا ۷۰ N از جنوب شهرستان یزد آغاز می‌شود و ضمن عبور از شهرستان تفت (با نام گسل تفت، شکل ۴-الف) کل محدوده را به صورت عرضی قطع می‌کند (شکل ۶). گسل علی‌آباد با طول حداقل ۷۰ کیلومتر و عرض زون گسلش بیش از ۲ کیلومتر دارای سازوکار راستالغز چپ‌بر با مقداری مؤلفه نرمال است. شیب این گسل حدود ۷۰ تا ۸۰ درجه به سمت شمال اندازه‌گیری شده است (شکل ۴-الف). گسل علی‌آباد واحدهای آهکی کرتاسه و توده‌های نفوذی شیرکوه و نفوذی‌های میوسن را متأثر ساخته است (شکل ۲). بر روی این گسل حداقل دو نسل حرکتی قابل مشاهده است. تشکیل معدن مس علی‌آباد در محل دگرسانی واحدهای آذرین دگرسان شده پهنه این گسل شکل گرفته است. با توجه به اینکه این گسل تمامی ساختارهای منطقه را قطع کرده است، می‌توان آن را با آخرین مرحله گسلش منطقه مرتبط دانست.

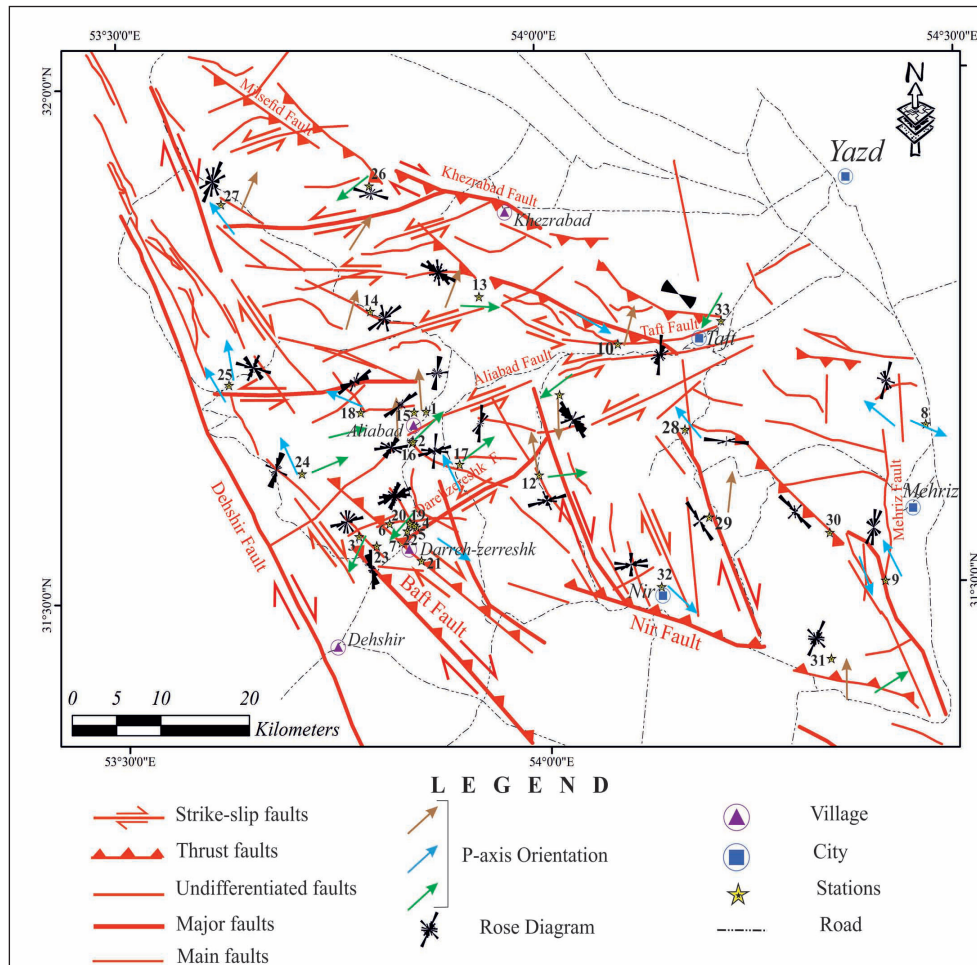
– **گسل دره‌زرشک:** این گسل با طولی حدود ۶۰ کیلومتر و امتداد تقریبی ۶۰ تا ۷۰ N در جنوب خاور گسل علی‌آباد و تقریباً به موازات آن کشیده شده است (شکل ۶). سازوکار این گسل راستالغز چپ‌بر با مقداری مؤلفه نرمال است (شکل ۴-ت). اندیس مس دره‌زرشک در آلتراسیون رخ داده در سطح این گسل صورت گرفته است. این گسل به‌طور عمده واحدهای آهکی کرتاسه و توده نفوذی شیرکوه و نفوذی‌های میوسن را متأثر ساخته است (شکل ۲). با توجه به اینکه این گسل تمامی ساختارهای مسیر خود را بریده و به‌طور چپ‌بر جابه‌جا کرده، می‌توان نتیجه گرفت که این گسل از نظر سنی جوان‌تر از سایر گسل‌های منطقه است (شکل ۶).



شکل ۴- شواهد صحرایی گسل‌های اصلی منطقه مورد مطالعه: الف) گسل علی‌آباد. به دگرسانی به نسبت شدید در سطح گسل توجه شود؛ ب) گسل خضرآباد. به دگرسانی به نسبت شدید در سطح گسل و همچنین به نسل‌های حرکتی متفاوت در سطح گسل توجه شود؛ پ) گسل تفت. دید به سمت باختر؛ ت) گسل دره‌زرشک. به دگرسانی به نسبت شدید در سطح گسل توجه شود. دید به سمت باختر؛ ث) گسل مهریز. دید به سمت شمال؛ ج) گسل نیر. دید به سمت جنوب.



شکل ۵- وضعیت تراکم گسل‌های برداشت شده (نمودار گل سرخی) و همچنین جهت‌گیری محورهای فشار در ۳۲ ایستگاه اندازه‌گیری.



شکل ۶- نقشه ساختاری محدوده مورد مطالعه. به سازوکار گسل‌ها، جهت‌گیری محورهای فشارش و نمودارهای گل‌سرخ‌ی توجه شود.

مؤثر ساخته است و به همین دلیل می‌توان نتیجه گرفت که باید جوان‌تر از ائوسن (و جوان‌تر از گسل‌های نسل قبل) باشد. ادامه خاوری این گسل با نام گسل نیر خوانده می‌شود که مرز کوه-دشت را رقم زده است. طول این بخش از گسل حدود ۵۰ کیلومتر بوده و در پایانه جنوب خاوری خود نیز ضمن خمشی راست‌گرد به گسل مهریز ختم شده است (شکل‌های ۲ و ۶).

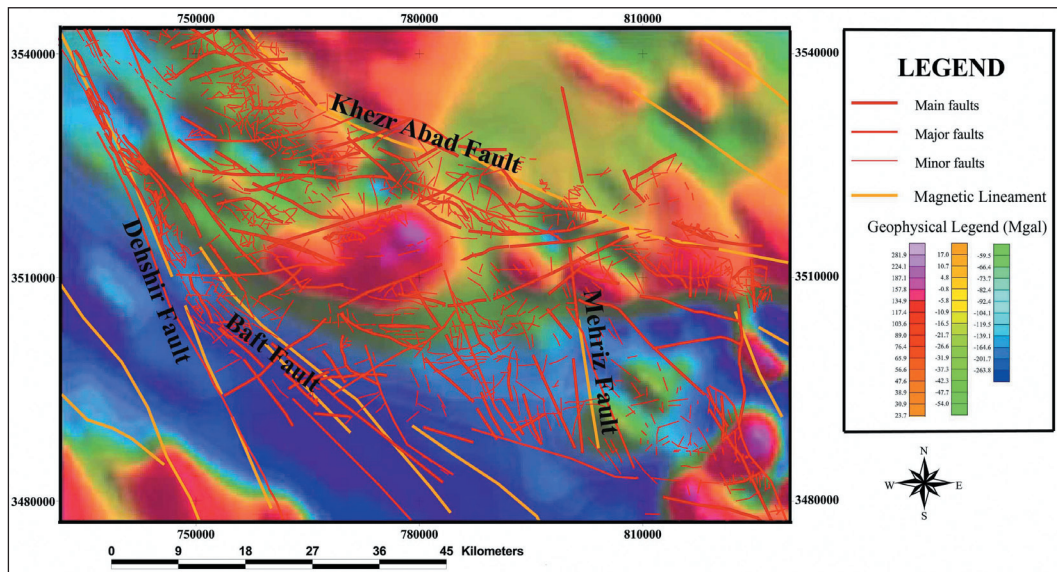
– **گسل مهریز:** این گسل با راستایی تقریباً شمالی-جنوبی (۱۶۰ تا ۱۷۰ N) و طولی حدود ۵۰ کیلومتر از خاور شهرستان تفت شروع و تا باختر شهر مهریز کشیده شده است. این گسل با عرض زون گسلش بیش از ۲/۵ کیلومتر سازوکار راستالغز راست‌بر دارد (شکل ۴-ث). این ساختار مرز خاوری ساختار شکل گرفته در منطقه را مشخص کرده است (شکل ۶). گسل مذکور بین واحدهای رسوبی ائوسن و واحدهای کواترنری قرار دارد و در انتهای جنوبی، مرز بین آهک‌های کرتاسه (سازند تفت) و واحدهای کواترنری را رقم زده است (شکل ۲).

۴-۳. مطالعات ژئوفیزیکی

از نقشه‌های مغناطیس‌هوایی برای شناسایی گسل‌های پی‌سنگی منطقه با استفاده از شواهدی نظیر قطع ناگهانی واحدهای مغناطیسی و قرارگیری واحدهای مغناطیسی قوی در کنار ضعیف استفاده شد (Gunn, 1997). ابتدا نقشه‌ها رقومی، به محیط GIS برده و سپس بر روی آن ساختارهای سطحی قرار داده شد (شکل ۷). نتایج نشان می‌دهد که گسل‌های اصلی منطقه نظیر گسل‌های دهشیر، مهریز، خضرآباد-میل سفید و بافت-نیر منطبق بر گسل‌های مستخرج از این روش هستند. همچنین توده‌های به ظاهر پراکنده از نفوذی‌های الیگوسن-میوسن به صورت یک توده عمقی به نسبت بزرگ در این نقشه قابل شناسایی است (شکل ۷).

– **گسل خضرآباد:** این گسل مرز شمالی ساختار شکل گرفته در منطقه را رقم زده است. گسل خضرآباد با راستایی ۱۱۰ تا ۱۲۰ N و طولی حدود ۹۵ کیلومتر از جنوب عقدا آغاز (با نام گسل میل سفید) شده و تا شمال تفت ادامه یافته است (شکل ۶). این گسل با شیبی حدود ۷۰ تا ۸۰ درجه رو به جنوب باختر، بیش از یک کیلومتر پهنه گسلیده دارد (شکل ۴-ب). سازوکار اصلی این گسل، گسلش معکوس با مقداری مؤلفه راستالغز راست‌بر (با وجود دو نسل حرکتی با بخش لغزهای مشخص) است (شکل ۸-الف). این گسل به‌طور عمده واحدهایی با سن پالئوزوییک، تریاس، کرتاسه و ائوسن را متأثر ساخته است (شکل ۲) و به همین دلیل می‌توان نتیجه گرفت که این نسل از گسلش باید جوان‌تر از ائوسن (و جوان‌تر از گسل‌های نسل قبل مانند: گسل دهشیر و مهریز) باشد. گسل خضرآباد در بخش شمال باختری و جنوب خاوری خود دچار خمشی راست‌گرد شده و به گسل‌های دهشیر و مهریز (شکل‌های ۲ و ۶) ختم شده و بعضاً شواهدی از قطع شدن گسل مهریز توسط آن قابل مشاهده است. در بخش‌هایی از این پهنه گسلی می‌توان در سطح گسل‌ها آثار دگرسانی را مشاهده کرد (شکل ۴-ب).

– **گسل بافت (گسل نیر):** این گسل مرز جنوبی ساختار شکل گرفته در منطقه را رقم زده است. بخش باختری این گسل که به ظاهر از گسل دهشیر منشعب شده است، با نام گسل بافت (به عنوان گسلی اصلی با طولی بیش از ۳۰۰ کیلومتر) شناخته می‌شود. این گسل با راستایی تقریبی ۱۱۵ تا ۱۲۵ N دارای طولی حدود ۸۵ کیلومتر است (شکل ۶). این گسل شیبی حدود ۷۰ درجه رو به شمال خاور و پهنه گسلیده با عرض بیش از ۴ کیلومتر دارد (شکل ۴-ج). سازوکار این گسل، گسلش معکوس با مقداری مؤلفه راستالغز راست‌بر است. این گسل نیز واحدهایی از کرتاسه و ائوسن را



شکل ۷- نقشه ژئوفیزیکی شامل ژئوفیزیک هوایی (پایگاه ملی داده‌های علوم زمین) و خطواره‌های مغناطیسی (Yousefi and Frieberg, 1978) به همراه موقعیت گسل‌های منطقه مورد مطالعه. به الگوی توده‌ای بخش میانی منطقه که در زون گسلیده با راستا ۶۰ تا ۷۰ N قرار گرفته است، توجه شود.

گسل‌هایی هستند که مرزهای خاوری و باختاری ساختار شکل گرفته در منطقه را رقم زده‌اند (شکل‌های ۶ و ۷).

• **شمال باختری- جنوب خاوری:** این راستای شکستگی عمدتاً در بخش‌های شمالی- جنوبی منطقه قابل مشاهده است و مرتبط با گسل‌هایی نظیر خضرآباد (میل سفید) در شمال و بافت (نیر) در جنوب منطقه هستند که مرزهای جنوبی رمبوند ساختاری منطقه را شکل داده‌اند (شکل ۶).

• **شمال خاوری- جنوب باختری:** این راستای شکستگی بیشتر در بخش مرکزی منطقه پیرامون گسل‌های علی‌آباد (تفت) و دره‌زرشک دیده می‌شود (شکل‌های ۶ و ۷).
- **وضعیت محورهای سینماتیکی:** این محورها پس از محاسبه (شکل ۵)، در محیط GIS بر روی ساختارها انداخته شد (شکل ۶ نقشه ساختاری منطقه) و وضعیت ساختارها، سازوکار و نسل‌های این محورهای سینماتیکی توأمان مورد بررسی قرار گرفتند. بر اساس جهت‌گیری، محورهای فشارش (شکل ۸) به سه دسته قابل تقسیم‌بندی هستند:

• **محورهای با امتداد شمالی- جنوبی** (شکل‌های ۶ و ۸): محورهای فشارش با امتداد شمالی- جنوبی ۱۵۰ تا ۱۷۰ N، به‌طور عمده در رخنمون‌های سنگی با سن کرتاسه و قدیمی‌تر دیده می‌شوند و به همین دلیل می‌توان نتیجه گرفت که این نسل حرکتی مربوط به پیش از فاز لارامید و قدیمی‌ترین نسل حرکتی است (مشرقی‌فر و همکاران، ۱۳۸۷). با توجه به اینکه قدیمی‌ترین نسل گسلش، گسل‌هایی با راستای ۱۵۰ تا ۱۶۰ N (گسل‌های دهشیر و مهریز) هستند، می‌توان نتیجه گرفت که این محورهای حرکتی احتمالاً مربوط به عملکرد این گسل‌های قدیمی باشند.

• **محورهای با امتداد شمال باختری- جنوب خاوری** (شکل‌های ۶ و ۸): محورهای فشارش با امتداد شمال باختری- جنوب خاوری در سازندهای جوان‌تر از کرتاسه نیز قابل مشاهده هستند. به همین دلیل، می‌توان نتیجه گرفت که جوان‌تر از محورهای نسل قبلی (با امتداد شمالی- جنوبی) هستند و می‌توانند به عنوان نسل دوم حرکتی در منطقه معرفی شوند. به نظر می‌رسد که این محورهای فشارش مربوط به زمان تشکیل یا فعال شدن گسل‌هایی با راستای شمال باختری- جنوب خاوری (گسل‌های خضرآباد- میل سفید و بافت- نیر) و گسل‌های مرتبط رده دومی آنها باشند. این گسل‌ها در مراحل بعدی گسلش دچار فعالیت مجدد شده‌اند و ممکن است جهت‌گیری زمان تشکیل خود را از دست داده باشند. به همین دلیل در سطح این گسل‌ها معمولاً بیش از یک نسل خش‌لغز قابل مشاهده است (شکل ۹).

۴-۴. بررسی ترتیب تقدم و تأخر گسلش

با توجه به اینکه گسل‌هایی با امتداد ۱۵۰ تا ۱۶۰ N (مانند گسل‌های دهشیر و مهریز) توسط دیگر راستاهای گسلش بریده و جابه‌جا شده‌اند، می‌توان نتیجه گرفت که این راستا باید قدیمی‌ترین راستای گسلش در منطقه باشند. این دو گسل همچنین مرزهای ساختاری باختری و خاوری منطقه را رقم زده‌اند. به این ترتیب می‌توان اذعان کرد که این امتداد گسلش می‌تواند اولین نسل گسلش در منطقه باشد.
در مرزهای شمالی و جنوبی منطقه گسل‌هایی با راستای ۱۱۰ تا ۱۲۰ N با سازوکار معکوس (گسل‌های خضرآباد- میل سفید و بافت- نیر) قرار گرفته‌اند (شکل ۶). این گسل‌ها، گسل‌های ۱۵۰ تا ۱۶۰ N را بریده و جابه‌جا کرده‌اند، پس باید جوان‌تر از راستا ۱۵۰ تا ۱۶۰ N باشند. به این ترتیب می‌توان اذعان کرد که این راستا از گسل‌ها، نسل دوم گسلش در منطقه هستند (شکل ۷).

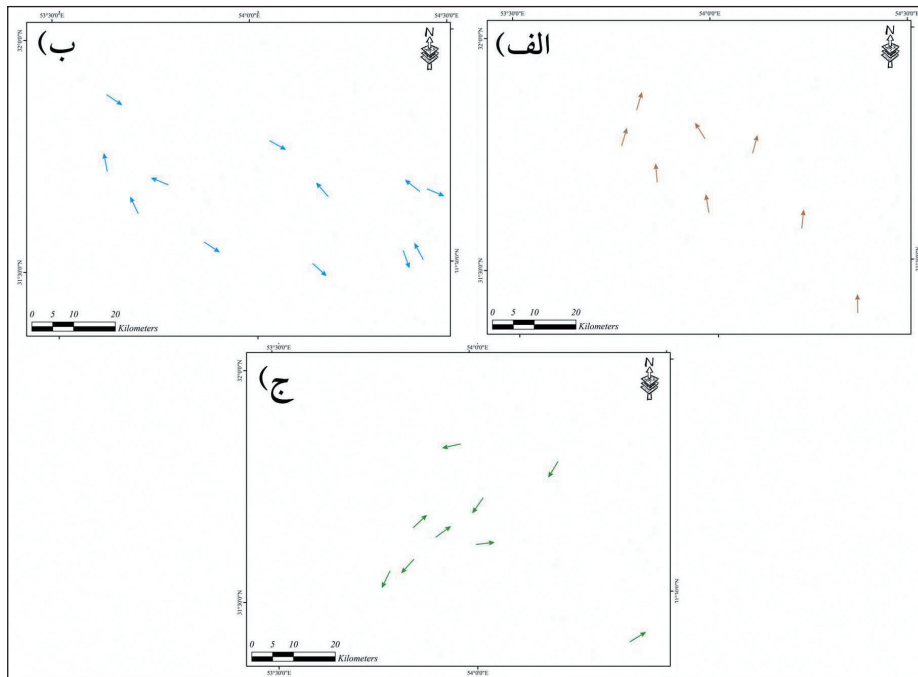
پهنه ساختاری با امتداد ۶۰ تا ۷۰ N شامل چندین گسل هم‌راستا (گسل‌های علی‌آباد- تفت و دره‌زرشک) با پهنای تقریبی ۴۵ کیلومتر است. شایان توجه است که این راستای ساختاری که به‌صورت اریب از کل منطقه مورد مطالعه عبور می‌کند، توانسته است تمامی ساختارهای منطقه را بریده و جابجا کند (شکل ۶). به این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که این ساختار جدیدترین نسل گسلش (نسل سوم گسلش) در منطقه است.

۴-۵. تحلیل هندسی و سینماتیکی ساختارها

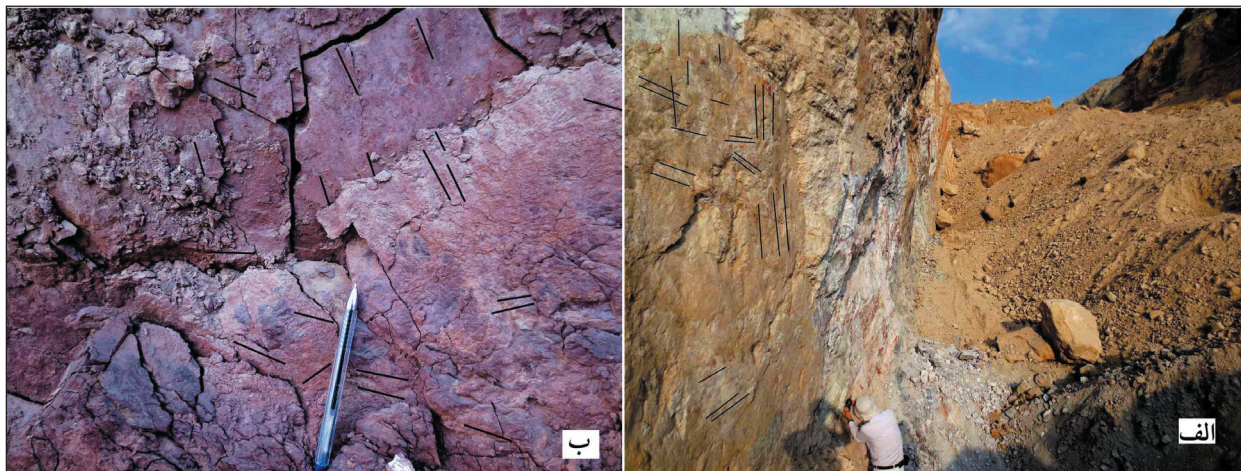
در این بخش از دو روش تهیه نمودارهای گل سرخی و محاسبه محورهای فشارش (P-axis) استفاده شد. نمودارهای گل سرخی بر اساس روش فرکانس- امتداد، ترسیم و نتایج به دست آمده (در ۳۲ ایستگاه؛ شکل ۸) بر روی نقشه ساختاری آورده شد. جهت تحلیل محورهای جنبشی (به خصوص محور فشارش) در منطقه، ابتدا گسل‌ها همراه با قلب و خش‌لغز آنها ترسیم و سپس صفحه حرکتی آنها محاسبه شد. در ادامه با حرکت بر روی صفحه حرکتی ۴۵ درجه در خلاف جهت بردار لغزش، محورهای فشارش محاسبه (شکل ۵) و در مرحله نهایی، بردارهای این محورها بر روی نقشه ساختاری آورده شد (شکل ۶). نتایج این بررسی‌ها به شرح ذیل هستند:

- **وضعیت تراکم شکستگی‌ها:** تحلیل نمودارهای گل سرخی نشان می‌دهد که سه راستای عمده گسلش در منطقه وجود دارند که عبارتند از:

• **شمال، شمال باختری- جنوب، جنوب خاوری:** این راستای شکستگی‌ها عمدتاً در بخش‌های خاوری و مرکزی دیده می‌شوند. راستاهایی با این امتداد عمدتاً مرتبط با



شکل ۸- تقسیم‌بندی محورهای فشارش بر اساس جهت‌گیری غالب آنها؛ الف) نسل اول حرکتی دارای روند شمالی- جنوبی؛ ب) نسل دوم حرکتی با روند شمال باختری- جنوب خاوری؛ ج) نسل سوم حرکتی با روند شمال خاوری- جنوب باختری.



شکل ۹- وجود دو تا سه نسل خش لغز بر سطح آینه گسلی گسل‌های: الف) خضرآباد (دید رو به شمال)؛ ب) تفت (دید رو به شمال)

(نوایی، ۱۳۸۱؛ زراسوندی و همکاران، ۱۳۹۴؛ Zarasvandi, 2004; Lotfi et al., 1993) تهیه و در مرحله بعدی در طی بازدیدهای صحرائی بازرسی و کنترل شد (شکل ۱۰) و آن دسته از رخدادهای کانه زایی که قطعی بودند، در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند (جدول ۱). سپس جدول اطلاعاتی رخدادهای مس شامل موقعیت مکانی رخدادهای مس و تیپ آنها در محیط GIS به عنوان لایه نقطه‌ای از رخدادهای مس تهیه و لایه‌برداری رخدادهای مس بر روی لایه گسل‌ها قرار داده شد (شکل ۱۱).

مهم‌ترین اندیس‌های مس در منطقه مورد مطالعه، رخدادهای علی‌آباد، دره‌زرشک، خضرآباد و خوت هستند که خلاصه وضعیت آنها در جدول ۱ آورده شده است.

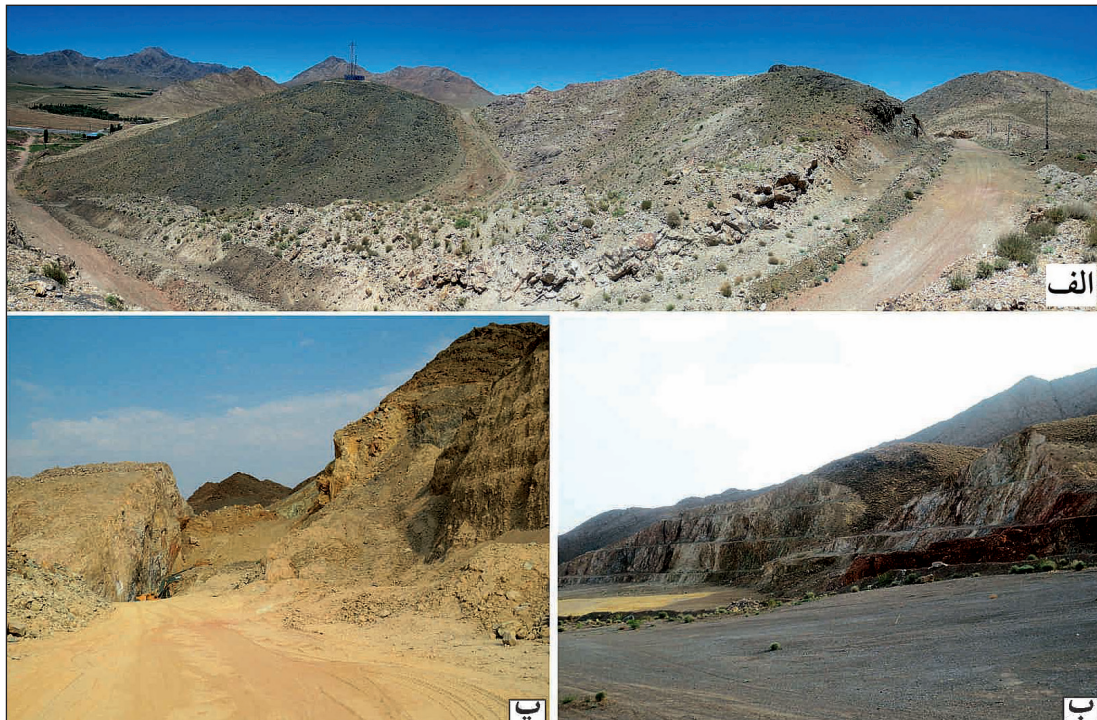
۵-۱. اندیس مس علی‌آباد

این اندیس معدنی که در وسعتی حدود دو کیلومتر مربع مورد اکتشاف قرار گرفته، در ۴۸ کیلومتری جنوب باختری یزد واقع شده است (شکل ۲). ب

• **محورهای با امتداد شمال خاوری- جنوب باختری** (شکل‌های ۶ و ۸): محورهای فشارش با امتداد شمال خاوری- جنوب باختری تقریباً در تمامی رخنمون‌های سنگی پیش از میوسن و حتی نفوذی‌های میوسن قابل مشاهده هستند. به همین دلیل می‌توانند به عنوان سومین نسل حرکتی در منطقه محسوب شوند. با توجه به اینکه جدیدترین نسل گسلش در منطقه، گسل‌هایی با امتداد شمال خاوری- جنوب باختری هستند، می‌توان نتیجه گرفت که این محورها مربوط به عملکرد این نسل جدید گسلش در منطقه باشند. شاید این نسل از گسلش به همراه گسل‌های نسل قبل، نقش ویژه‌ای در ایجاد محیطی مساعد جهت شکل‌گیری توده‌های نفوذی نئوژن و کانی‌زایی بازی کرده است.

۵-۲. بررسی رخدادهای کانه‌زایی

ابتدا بانک اطلاعاتی مربوط به ۳۷ مورد رخدادهای مس با استفاده از منابع مختلف



شکل ۱۰- رخدادهای کانه‌زایی مس در منطقه مورد مطالعه. الف) نمایی پانوراما از معدن علی‌آباد؛ ب) معدن دره‌زرشک؛ پ) معدن خضرآباد.

جدول ۱- مشخصات مهم‌ترین اندیس‌های مس در منطقه مورد مطالعه (نوابی، ۱۳۸۱؛ خوبی و همکاران، ۱۳۷۸؛ قانع‌اردکانی و همکاران، ۱۳۹۳؛ زاهدی و بومری، ۱۳۹۳؛ Zarasvandi, 2004).

ردیف	اندیس‌های مس	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	سنگ میزبان	نوع کانی‌زایی
۱	علی‌آباد	53.828	31.637	گرانیتوئید میوسن	پورفیری
۲	دره‌زرشک	53.848	31.567	گرانیتوئید میوسن - آهک‌های کرتاسه	پورفیری - اسکارن
۳	خوت	53.698	31.876	گرانودیوریت الیگو میوسن - آهک‌های تریاس بالایی	اسکارن
۴	پناهکوه	53.848	31.567	گرانیتوئید الیگو میوسن - آهک‌های سازند جمال	پورفیری - اسکارن
۵	خضرآباد	53.942	31.878	آلکالیگرنایت تا گرانودیوریت میوسن - آهک‌های کرتاسه	اسکارن هورنفلس
۶	نصرآباد	53.844	31.746	گرانیتوئید میوسن	-
۷	سرتاب	53.800	31.730	گرانیتوئید میوسن	-
۸	آدربلندان	53.728	31.671	گرانیتوئید میوسن	-
۹	میل سفید	53.733	31.95	گرانیتوئید میوسن	پورفیری

۵-۲. اندیس مس دره‌زرشک

این اندیس معدنی در حوالی جنوب روستای دره‌زرشک واقع شده است. واحدهای رسوبی رخنمون یافته در این معدن سازندهای سنگستان و تفت هستند. به درون این توالی رسوبی (شکل ۲)، سنگ‌های گرانیتی با سن الیگوسن و مجموعه‌های گرانیتوئیدی با سن میوسن نفوذ کرده‌اند. در داخل این توده‌های نفوذی کانی‌زایی مس پورفیری رخ داده است (Hosseini et al., 2010). همچنین نفوذ توده‌های گرانیتوئیدی در داخل سنگ‌های آهکی محدوده موجب کانی‌زایی مس و آهن نوع اسکارن در محدوده دگرسان شده (عمدتاً نوع پتاسیک) شده است (شکل‌های ۴-ت و ۱۰-ب). حجم ذخیره این معدن ۲۳ میلیون تن و عیار مس آن ۰/۸۰ تا ۰/۹۷ برآورد شده است (Zarasvandi et al., 2004).

ر طبق مشاهدات صحرائی و کنترل نقشه‌های موجود زمین‌شناسی، قدیمی‌ترین واحد رخنمون یافته در معدن علی‌آباد، از کنگلومرا، ماسه‌سنگ و شیل (با سن ژوراسیک پسین تا کرتاسه پیشین) تشکیل شده است. این واحدهای رسوبی توسط توف‌های ریولیتی تا ریوداسیتی پوشانده شده‌اند. توده‌های گرانیتی و گرانودیوریتی با سن میوسن به داخل این رخنمون‌های سنگی نفوذ کرده‌اند. کانی‌زایی مس در استوک‌های گرانیتوئیدی این توده‌ها به صورت نهشته‌های پورفیری در زون‌های دگرسان شده (عمدتاً دگرسانی فیلیک) (شکل‌های ۱۰-الف و ۴-ب) رخ داده است. حجم ذخیره این معدن ۴۰ میلیون تن و عیار متوسط مس آن ۰/۷۳ درصد برآورد شده است (Zarasvandi et al., 2004).

۵-۳. اندیس مس خضرآباد

این اندیس معدنی در حوالی روستای خضرآباد قرار گرفته است. عمده رخنمون‌های پیرامون این معدن شامل توالی‌های رسوبی با سن پرکامبرین-پالئوزویک هستند که بعضاً دچار دگرگونی شده‌اند (شکل ۲). همچنین توالی رسوبات تریاس و کرتاسه نیز قابل مشاهده است. توده نفوذی آلکالی گرانیت تا گرانودیوریت با سن الیگوسن-میوسن به داخل سکناس سنگی کرتاسه (سازند تفت) نفوذ و کانه‌زایی تیپ اسکارن هورنفلس را ایجاد کرده است (قانع‌ای اردکانی و همکاران، ۱۳۹۳). عمده کانه‌زایی در بخش دگرسان شده صورت پذیرفته (شکل‌های ۴-ب و ۱۰-پ) و شامل رخداد‌های کانه‌زایی آهن و در بخش‌هایی کانه‌زایی مس (شبه معدن دره زرشک) است.

۵-۴. اندیس مس خوت

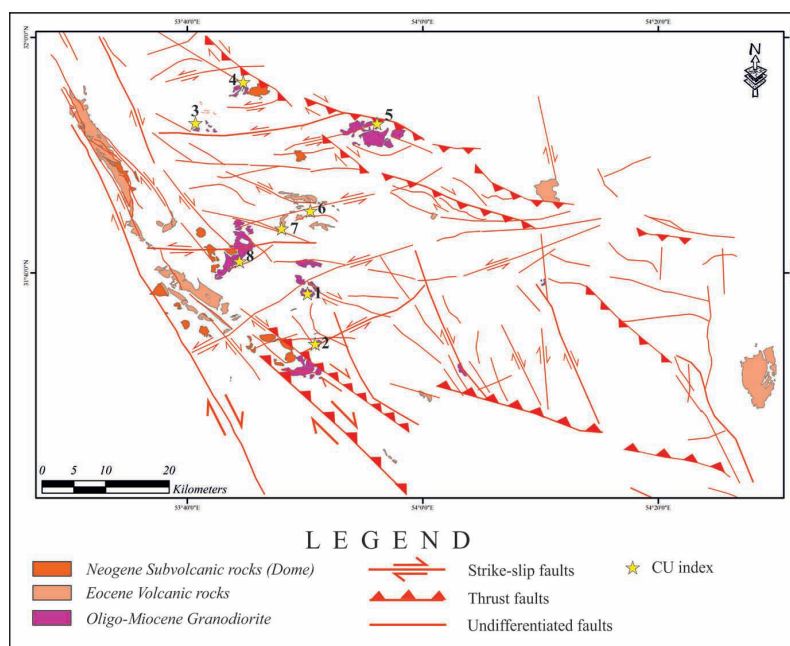
این اندیس معدنی در حوالی روستای خوت در ۶۵ کیلومتری باختر شهر یزد در بخش شمالی منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است. عمده رخنمون‌های پیرامون این معدن شامل توالی‌های رسوبی با سن تریاس بالایی (سازند ناینند) است (شکل ۲). توده نفوذی گرانودیوریتی با سن الیگومیوسن به داخل این سکناس سنگی رسوبی نفوذ کرده و کانه‌زایی مس را به صورت اسکارن (در بخش دگرسان شده) با ذخیره ۱۲۰۰۰ تن با عیار ۱/۲٪ ایجاد کرده است (زاهدی و همکاران، ۱۳۹۳).

۶- بحث و نتیجه‌گیری

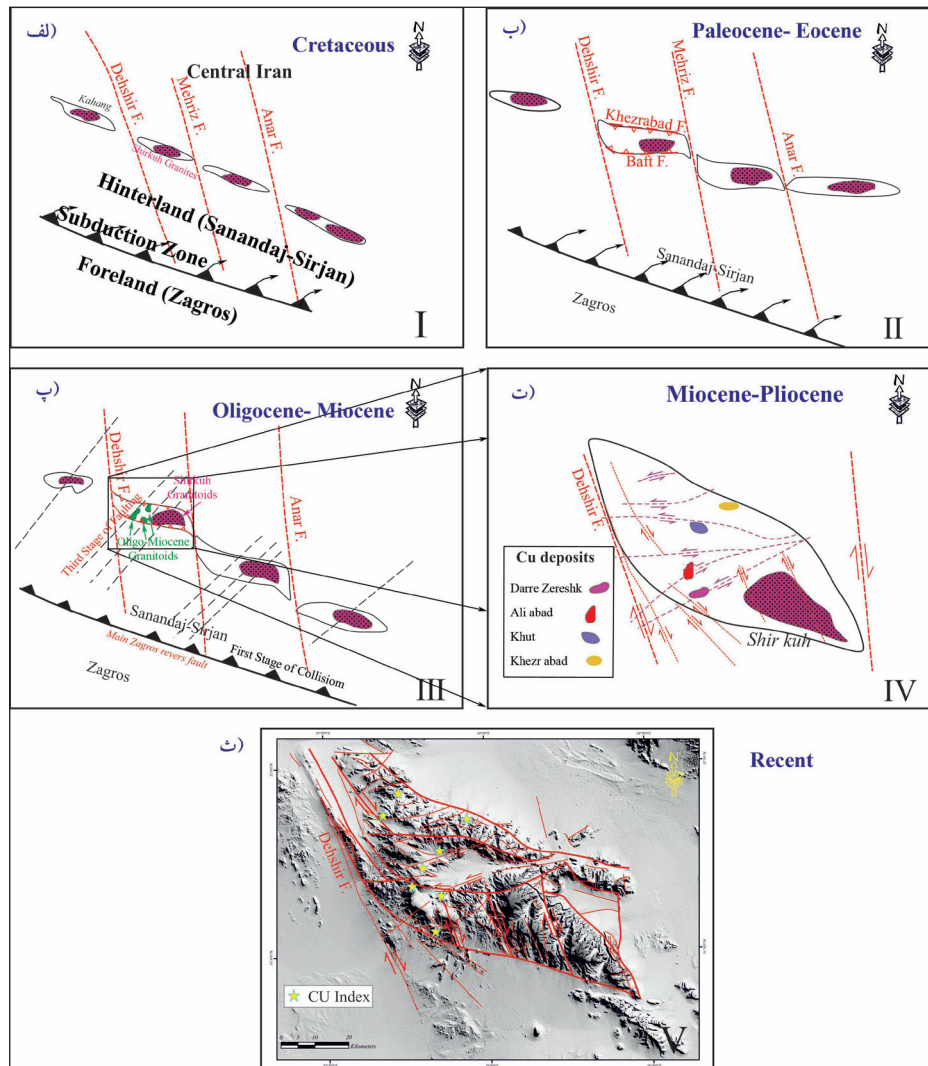
در این پژوهش مشخص شد که منطقه مورد بررسی در بخش مرکزی کمربند ماگمایی ارومیه-دختر قرار گرفته است و در آن دو نسل توده گرانیتیویدی شامل توده گرانودیوریت-مونزوگرانیتی شیرکوه با سن ژوراسیک پسین از نوع S-type (شیبی و اسماعیلی، ۱۳۸۹) و توده‌های دیوریت، گرانودیوریت و گرانیتی علی‌آباد-دره زرشک-خضرآباد به سن الیگوسن-میوسن از نوع I-type (Zarasvandi, 2004) نفوذ کرده‌اند. بررسی‌های ساختمانی حاکی از آن بوده که این منطقه در حد فاصل دو گسل اصلی پی‌سنگی دهشیر و مهریز با راستای ۱۵۰ تا ۱۷۰ N و سازوکار حرکتی راستالغز راست‌بر (به عنوان اولین نسل گسلش) قرار گرفته است. این پهنه ساختمانی همچنین از شمال و جنوب نیز توسط گسل‌های معکوس خضرآباد-میل سفید و بافت-نیر با راستای ۱۱۰ تا ۱۲۰ N (به عنوان دومین نسل گسلش) محاط شده

است (شکل ۶). در حد فاصل این دو نسل گسلش، پهنه‌ای ساختمانی به شکل رومیوندرال تشکیل یافته است (شکل‌های ۲ و ۶). این رومیوندر ساختمانی توسط نسل سومی از گسلش با راستای ۶۰ تا ۷۰ N بریده و جابه‌جا شده است (شکل ۶). بررسی محورهای حرکتی در منطقه نیز سه نسل حرکت با راستاهای تقریباً شمالی-جنوبی، شمال باختری-جنوب خاوری و شمال خاوری-جنوب باختری را به نمایش می‌گذارند که منعکس‌کننده سه نسل حرکت (شکل ۸) منجر به تشکیل این ساختار است (شکل ۶).

الگوی پراکنش توده‌های نفوذی الیگوسن-میوسن نشان می‌دهد که تمامی آنها در زون گسلیده با راستای ۶۰ تا ۷۰ N قرار گرفته‌اند که رومیوندر ساختمانی را به صورت اریب بریده و به نوعی مکان جایگیری آنها توسط این پهنه گسلیده کنترل شده است (شکل‌های ۲ و ۱۱). بررسی نقشه‌های ژئوفیزیکی نیز مشخص می‌کند که تمامی این رخنمون‌های گرانیتیویدی استوک‌های رخنمون یافته از یک توده باتولیتی واحد هستند. بررسی کانه‌زایی مس در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که حداقل در ۳۷ نقطه کانه‌زایی در قالب تیپ پورفیری (منطقه علی‌آباد)، پورفیری-اسکارن (مناطق دره زرشک و خضرآباد) و اسکارن (منطقه خوت) (نویایی، ۱۳۸۱؛ خوبی و همکاران، ۱۳۷۸؛ قانع‌ای اردکانی و همکاران، ۱۳۹۳، زاهدی و بومری، ۱۳۹۳؛ Zarasvandi, 2004) شناسایی شده‌اند که تنها در ۹ رخداد (جدول ۱)، کارهای به نسبت دقیقی صورت پذیرفته است. عمده کانه‌زایی مس در درون این توده‌های گرانیتیویدی در زون‌های دگرسان شده مرتبط با رده‌های ثانویه با راستای ساختمانی ۶۰ تا ۷۰ N به صورت کانه‌زایی تیپ پورفیری نهشته شده‌اند و اگر این توده‌ها به درون لایه‌های رسوبی نفوذ کرده باشند، در محل مجاورت توده، کانه‌زایی تیپ اسکارن نیز ایجاد کرده‌اند. عملکرد گسل‌های دهشیر و مهریز (به عنوان نسل اول گسلش) با همراهی گسل‌هایی با امتداد ۱۱۰ تا ۱۲۰ N (به عنوان نسل دوم) سبب ایجاد یک رومیوندر ساختمانی شده است (شکل ۱۲). شواهد نشان می‌دهد که بسته شدن نئوتتیس (فاز لارامید) و تکمیل فرایند برخورد (میوسن) سبب ایجاد یا فعال شدن ساختارهای عمود بر محل برخورد است (Sengor and Natlin, 2001).



شکل ۱۱- ارتباط بین توده‌های نفوذی (الیگوسن-میوسن) و آتشفشانی‌ها (ائوسن-نئوژن) با گسل‌های منطقه.



شکل ۱۲- مدل فرگشت ساختاری محدوده مورد مطالعه؛ الف) فروانش پوسته اقیانوسی نوتتیس به زیر ایران مرکزی از ژوراسیک پسین- کرتاسه و تشکیل یک سیستم کمائی و شروع فعال شدن نسل اول شکستگی ها؛ ب) ادامه فروانش و فعال شدن نسل دوم شکستگی ها و تشکیل رومبوند ساختاری؛ پ) شروع فرایند برخورد قاره‌ای و فعال شدن نسل سوم شکستگی ها و ایجاد زمینه مناسب جهت نفوذ توده گرانیتیوی؛ ت) تکمیل مراحل برخورد و به هم ریختگی رومبوند ساختاری و کانه‌زایی مس؛ ث) وضعیت فعلی ساختارها، ریخت‌شناسی و کانه‌زایی مس.

۶۰ تا ۷۰ N) سبب ایجاد محیطی مناسب برای نفوذ توده‌های گرانیتیوی (با سن الیگوسن-میوسن) شده است. به طوری که بررسی موقعیت فضایی این توده‌ها در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که تمامی این توده‌ها تنها در این زون گسلیده دیده می‌شوند که به نوعی ارتباط ژنتیکی این توده‌ها را با این پهنه گسلیده به نمایش می‌گذارد. به این ترتیب این پژوهش نشان می‌دهد که کانه‌زایی مس در این منطقه درون این توده‌های گرانیتیوی (یا استوک‌های آنها) در زون‌های دگرسان شده مرتبط با رده‌های ثانویه راستای ساختاری ۶۰ تا ۷۰ N به صورت کانه‌زایی تیب پورفیری نهشته شده‌اند و اگر این توده‌ها به درون لایه‌های رسوبی نفوذ کرده باشند، در محل مجاورت توده پدیده متاسوماتیزم رخ داده و کانه‌زایی تیب اسکاردن ایجاد کرده است. در برخی موارد نیز ترکیبی از هر دو تیب کانه‌زایی دیده می‌شود.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی شرکت ملی صنایع مس انجام گرفت. از امور اکتشافات شرکت ملی مس ایران به ویژه جناب مهندس بابک بابائی، جناب مهندس حسین تقی‌زاده و جناب مهندس کامبیز خراسانی بابت فراهم کردن شرایط مساعد جهت انجام این پژوهش سپاسگزاری می‌شود.

این ساختارهای کششی، که در صورت گسترش سبب ایجاد کافت‌های برخوردزاد می‌شوند (Craig Jowett, 1991)، معمولاً عمود بر محل برخورد هستند و همچنین محلی مناسب جهت ایجاد مجراهای صعود برای ماگماتیسم مرتبط با ادامه فروانش می‌شوند. این شکستگی‌های کششی در ادامه به واسطه تغییر در رژیم زمین‌ساختی محل برخورد تبدیل به گسل‌های امتدادلغز خواهند شد. شواهد صحرایی و تحلیل سینماتیکی گسل‌های منطقه مورد مطالعه، پهنه‌ای از گسلش را به نمایش می‌گذارند که دارای امتداد ۶۰ تا ۷۰ N هستند و با زاویه بزرگ نسبت به محل برخورد قرار گرفته‌اند. این رده از گسل‌ها بسیار جوان هستند و تمامی رده‌های دیگر گسلش را بریده و جابه‌جا کرده‌اند. در منطقه مورد مطالعه تنها درون این پهنه گسلیده با امتداد ۶۰ تا ۷۰ N نفوذ توده‌های گرانیتیوی با سن الیگوسن-میوسن دیده می‌شود (شکل ۱۲) که به نظر می‌رسد این پهنه گسلیده در طی میوسن فعال شده و محل مناسبی جهت جایگیری توده‌ها فراهم کرده است. در حال حاضر با تغییر رژیم زمین‌ساختی از فشارشی به فشارشی-برشی، سازوکار حرکتی این پهنه گسلش از سازوکار نرمال (در زمان میوسن) به چپ‌بر با کمی مؤلفه نرمال تغییر یافته است. شایان توجه است که در اکثر این مناطق عملکرد این پهنه سبب کانه‌زایی مرتبط با توده‌های نفوذی I-Type شده است (Moritz et al., 2006; Aliyari et al., 2011). در منطقه مورد مطالعه نیز عملکرد این پهنه گسلیده (با امتداد

کتابنگاری

- خویی، ن.، قربانی، م. و تاجبخش، پ.، ۱۳۷۸- کانسارهای مس در ایران، گزارش سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۴۲۱ ص.
- زاهدی، ا. و بومری، م.، ۱۳۹۳- بررسی میانبراهای سیال و ایزوتوپ‌های پایدار (کربن، اکسیژن و گوگرد) در زایش و تکوین اسکارن مس خوت، باختر یزد، ایران مرکزی. مجله پترولوژی، سال پنجم، شماره بیستم، زمستان ۱۳۹۳، صص. ۱۰۷ تا ۱۲۶.
- زراسوندی، ع.، سامانی، ب.، پورکاسب، ه.، خورسندی، ز. و جلیلی، ی.، ۱۳۹۴- بررسی ارتباط ساختاری- زایشی کانی‌سازی مس در مناطق خضرآباد و شهربابک: با استفاده از آنالیزهای Fry و Fractal. مجله زمین‌شناسی اقتصادی، جلد ۷، شماره ۲، صص. ۳۸۵ تا ۴۰۲.
- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۰- نقشه‌های زمین‌شناسی علی‌آباد و خضرآباد، مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰.
- شیبی، م. و اسماعیلی، د.، ۱۳۸۹- شواهد سنگ‌شناختی و ژئوشیمیایی رستیت در گرانبیت آتاکسی شیرکوه، جنوب باختر یزد، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال هجدهم، شماره ۱، صص. ۱۳۵ تا ۱۴۶.
- قانع‌اردکانی، ج.، مهدی‌زاده شهری، ح.، درویش‌زاده، ع. و مکی‌زاده، م. ع.، ۱۳۹۳- پتروگرافی و پتروژنز اسکارن‌های هشت کوه خضرآباد یزد، مجله پترولوژی، سال پنجم، شماره هفدهم، صص. ۶۹ تا ۸۲.
- مشرقی فر، م. ر.، علوی، ا. و محجل، م.، ۱۳۸۷- تفکیک فازهای تنش دیرین بر پایه داده‌های گسلی ناهمگن در بخش مرکزی گسل دهشیر، فصلنامه علوم زمین، سال هجدهم، شماره ۶۹، صص. ۶۴ تا ۷۳.
- مقصودی، م.، قرشی، م. و نظام‌پور، م. ه.، ۱۳۹۱- شواهد ساختاری تغییر رژیم تنش فشارشی به برشی- فشارشی در منطقه جنوب خاور باتلاق گاوخونی (محدوده خوشاب)، فصلنامه علوم زمین، سال هفتم، شماره ۲۴، صص. ۱۹۷ تا ۲۱۳.
- نویایی، ا.، ۱۳۸۱- نگرشی بر ذخایر مس ایران: خاستگاه و نحوه پراکندگی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، گزارش داخلی، ۲۳۴ ص.

References

- Agard, P., Omrani, J. and Jolivet, L., 2011- Zagros orogeny: a subduction-dominated process. *Geol. Mag.*, 148 (5-6): 692- 725.
- Aliyari, F., Rastad, E. and Mohajjel, M., 2011- Gold Deposits in the Sanandaj-Sirjan Zone: Orogenic Deposits or Intrusion-Related Gold Systems?, *Resource Geology* Vol. 62, No. 3: 2960- 315
- Craig Jowett, E., 1991- Post-Collisional formation of the Alpine Foreland Rifts, *Ann. Soci. Geo. Poloniae*, Vol. 61, pp. 37- 59.
- Ghorbani, M., 2013- The Economic Geology of Iran: Mineral Deposits and Natural Resources, Springer Science+Business Media Dordrecht, 581 p.
- Gunn, P. J., 1997- Quantitative method for interpreting aeromagnetic data: a subject review *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, P. 105- 113.
- Hosseini, M., Zarasvandi, A. R. and Liaghat, S., 2010- Tectonic setting and petrogenesis of Darreh-Zereshk granitoids (SW Yazd, Iran) and comparison with some world skarn granitoids. Abstract for the 1st International Applied Geological Congress, Department of Geology, Islamic Azad University-Mashad Branch, Iran, 26- 28 April.
- Le Dortz, K., Meyer, B., Sebrier., Braucher, r., Braucher, R., Nazari, H., Benedetti., Fattahi, M., Bourles, B., Foroutan, M., Siame, M., Rashidi, A. and Bateman, D., 2011- Dating inset terraces and offset fans along the Dehshir Fault (Iran) combining cosmogenic and OSL methods. *Geophys. J. Int.*, 185, 1147- 1174.
- Lillesand, T. M. and Kiefer, R. W., 2000- Remote Sensing and Image Interpretation, 4th ed.; John Wiley and Sons: New York, NY, USA; pp. 20- 80.
- Lotfi, M., Sadeghi, M. M. and Omrani, S. J., 1993- Mineral distribution map of Iran, scale: 1/1000000, *Geologic Survey of Iran*.
- Meyer, B., Mouthereau, F., Lacombe, O. and Agard, P., 2006- Evidence of quaternary activity along the Dehshir Fault, *Geophy. J. int.*, 164, 192- 201.
- Mohajjel, M., Fergusson, C. L. and Sahandi, M. R., 2003- Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan zone, eastern Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21, 397- 412.
- Moritz, R., Ghazban, F. and Singer, B. S., 2006- Eocene gold ore formation at Muteh, Sanandaj- Sirjan tectonic zone, eastern Iran: a result of late-stage extension and exhumation of metamorphic basement rocks within the Zagros orogen. *Economic Geology*, 101, 14 97- 1524.
- Richards, J. P., 2003- Tectono-Magmatic Precursors for Porphyry Cu-(Mo-Au) Deposit Formation, *Economic Geology*, Vol. 98, pp. 1515-1533.
- Safari, H., Bagas, L. and Shafiei, B., 2015- Structural controls on the localization of Cu deposits in the Kerman Cu metallogenic province of Iran using geoinformatic techniques. *Ore Geology*, 67, 43- 56.
- Sengor, C. A. M. and Natlin, B. A., 2001- Rifts of the Worlds, *Geological Society of America*, Special paper 352, pp. 389- 401.
- Shafiei, B., 2010- Lead isotope signatures of the igneous rocks and porphyry Cu deposits from the Kerman Cenozoic magmatic arc (SE Iran), and their magmatic-metallogenetic implications. *Ore Geology Reviews*, 38, 27- 36.
- Tabaei, M., Mehdizadeh, R. and Esmacili, M., 2016- Stratigraphical evidences of the Qom- Zefreh fault system activity, Central Iran, *Journal of Tethys*, Vol. 4, No. 1, pp. 018- 026.
- Walker, R. and Jackson, J., 2004- Active tectonics and late Cenozoic strain distribution in central and eastern Iran, *Tectonics*, 23, TC5010, doi: 10.1029/2003TC001529.
- Yousefi, E. and Friedberg, J. L., 1978- Aeromagnetic Map of Yazd, Quadrangle H9.
- Zarasvandi, A. R., 2004- Geology and genesis of the Darreh-Zerreshk and Ali-Abad copper deposits, Southwest of Yazd, based on fluid inclusion and isotope studies. Shiraz University, Iran (PhD Thesis, 280 pp).
- Zarasvandi, A., Liaghat, S. and Zentilli, M., 2004- Evolution of the Darreh-Zerreshk and Ali-Abad porphyry copper deposits, central Iran, within an orogeny -parallel strike-slip system, in 30th Ann. Meet. of Atl. Geosci. Soci., Jan. 30-31, Canada, p.36.

Investigation on relationship between Copper mineralization and structural evolution in Taft structural rhombohedral

M. Ramazani Katayuncheh¹, H. Safari^{2*}, H. Safaei³ and Gh. H. Shamaanian²

¹Ph.D. Student, Department of Geology, Golestan University, Gorgan, Iran

²Associated Professor, Department of Geology, Golestan University, Gorgan, Iran

³Associated Professor, Department of Geology, University of Isfahan, Isfahan, Iran

Received: 2017 July 24

Accepted: 2018 April 18

Abstract

Taft area is located in the central part of Urmia-Dokhtar Magmatic Arc (UDMA), adjacent to Western block of Dehshir Major Fault. More than 100 copper occurrences were identified in UDMA. It seemed that these Cu occurrences are related to structures, especially major and main faults. Therefore, the Taft area is selected for investigation on relationship between Cu mineralization and Tectonics (and structures). In this research, the main structures are extracted and analyzed by using Remote sensing techniques, GIS environment and Field investigations. The results show that a Structural Rhombohedral shape created by activating of two order faults with N150-170 and N110-120 trend. In follow, the third-stage of faulting with N60-70 trend cut and offset the all of other formed structures and enumerate as youngest order of faulting in this area. This stage of faulting was taken placed during initiation of collision between Arabian plate and Iranian Micro plates in Oligocene-Miocene episode. Because, this fault zone was formed perpendicular to convergent zone, it has tension component and prepared a suitable environment for I-type Granitoid bodies' injection. This phenomenon has main role in forming of Porphyry- Skarn Cu mineralization in length of this fault zone.

Keywords: Urmia-Dokhtar magmatic arc, Taft rhombohedral structure, Copper mineralization, Porphyry- Skarn occurrences, Oligocene-Miocene Granitoids

For Persian Version see pages 249 to 260

*Corresponding author: H. Safari; E-mail: h.safari@gu.ac.ir